

Dipl.-Chem. Henning Müller

Landesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Thüringen

Dr.-Ing. Dietrich Weiß

Amt für Arbeitsschutz Suhl



Ergebnisse aus Langzeitstudien zu Gefahrstoffbelastungen im Tunnelbau

Der Süden Thüringens ist durch den Bau der Autobahnen A 71/A 73 von Erfurt nach Schweinfurt und Abzweig von Suhl nach Lichtenfels mit ingenieurtechnisch anspruchsvollen Brücken- und Tunnelbaustellen geradezu privilegiert. Bei der Querung des Thüringer Waldes wechseln sich wie im Hochgebirge Brücken und Tunnel ab. Der „Behringer Tunnel“ kann als Teil der Bündelungstrasse Autobahn/ICE bereits befahren werden. Zusammen entstehen neben einer ganzen Reihe von Brücken zweiröhrig etwa 25 km Autobahntunnel.



Bild 1 Südportal des Rennsteigtunnels

Obwohl durch den Einsatz moderner Technik bezüglich der physischen Belastung wesentlich reduziert, gehören untätige Arbeiten im Allgemeinen und solche im Tunnelbau im Besonderen noch immer zu den schweren, besonders beanspruchenden und gefährlichen Arbeiten. Die Unfallgefahren im Tunnelbau sind trotz weitgehender Mechanisierung und Automatisierung vielfältig und die Unfallhäufigkeit bleibt hoch. Umso erfreulicher ist es, dass nach Beendigung der Tunnelvortriebe kein einziger tödlicher Arbeitsunfall zu beklagen ist.

Bringen auf der einen Seite moderne Vortriebs- und Sicherungsverfahren körperliche Erleichterungen, so kommen andererseits neue Beanspruchungen und Belastungen hinzu. Im Vergleich zum Vortrieb des Brandleitetunnels zwischen Gehlberg und Oberhof Ende des 19. Jahrhunderts sind beispielsweise die Staubbelastung beim Spritzbetonieren oder die Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen neu.



Werden beim Einsatz neuartiger Sprengstoffe weniger Stickoxide frei, so steigt offenbar der Anteil von Kohlenmonoxid. Darüber hinaus ist der Mineur Lärm, Kälte, Zugluft, Nässe und gegebenenfalls noch radioaktiver Strahlung – Radon – ausgesetzt.

Auf Fragen des sozialen Arbeitsschutzes, wie Arbeitszeit (üblich sind so genannte „Drittelschichten“ bei einer Schichtdauer von 12 Stunden; nach 10 Tagen sind jeweils 5 Tage frei) oder Baustellenunterkünfte, sei nur am Rande verwiesen.

Alle Autobahntunnel werden zweiröhrig nach der so genannten NÖT – „Neue Österreichische Tunnelbaumethode“ – im Sprengvortrieb aufgeföhren. Diese läuft periodisch wie folgt ab:

1. Lösen des Gebirges;

- 1.1 Bohren der Sprenglöcher;
- 1.2 Besetzen der Sprenglöcher;
Vorbereitung der Sprengung;
- 1.3 Sprengung; Begutachtung von
First, Ortsbrust und Ausbruch;
- 1.4 gegebenenfalls Berauben von First
und Ortsbrust;

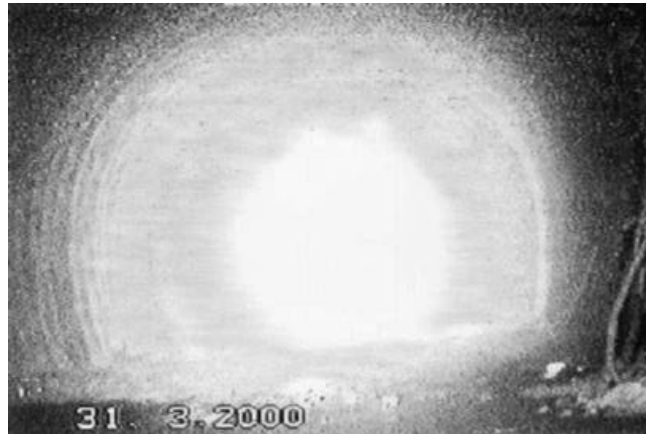


Bild 2 Stichflamme wenige Sekundenbruchteile nach der Zündung

2. Herausfahren des Ausbruches (Schuttern);



Bild 3 Nach einer unterschiedlich langen Wartezeit fahren bis zu 4 Muldenkipper oder Dumper das Haufwerk aus dem Tunnel

3. Sichern des Gebirges;

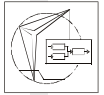
- 3.1 1. Lage spritzen;
- 3.2 Bögen stellen; Mattenbewehrung;
- 3.3 System-Ankerung;
- 3.4 2. Lage spritzen;



Bild 4 Einsatz des Manipulators

4. Nacharbeiten/Weiterführung von Versorgungsleitungen, Entwässerungsgräben usw.

Die Exposition gegenüber arbeitshygienischen Schadfaktoren ist wie stets abhängig von der Technologie. Von besonderer Bedeutung sind Staub, Dieselmotoremissionen, Kohlenmonoxid, physische Belastung und Lärm.



Nimmt man – aufbauend auf eigenen Beobachtungen, orientierenden Messungen, eingedenk vorhandener Erfahrungen – eine qualitative Bewertung vor, so repräsentieren die technologischen Schritte „Betonspritzen“ und „Schuttern“ die arbeitshygienisch kritischen Sachverhalte. Beim „Spritzen“ ist es in erster Linie die Staubbelastung, beim „Schuttern“ sind es wegen der eingesetzten enormen Dieselmotorleistung die Dieselmotoremission und die Konzentration an Kohlenmonoxid.

Letzteres war überraschend. Es war anfangs nicht bekannt, dass beim Zünden von 1 kg Sprengstoff 22,7 l CO frei werden. Geht man bei größeren Abschlagslängen von bis zu 400 kg je Schuss aus, werden schlagartig fast 10.000 l CO frei, die schnell auf 30 oder 60 ppm verdünnt sein wollen.

Die messtechnische Begleitung dieser Tunnelbaumaßnahmen hatte im Wesentlichen vier Ursachen:

1. Wie bei allen anderen Arbeitsplätzen ist auch auf Tunnelbaustellen eine Gefährdungsbeurteilung notwendig. Der hohe Anspruch daran wird dadurch verstärkt, da untertägige Arbeiten nach der Baustellenverordnung zu den gefährlichen zählen.
Damit reicht eine qualitative Beschreibung nicht aus. Es machen sich stabile Aussagen zur arbeitshygienischen Situation notwendig, auch im Hinblick auf die Begründung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes, bis hin zur Anordnung.
2. Messungen sind insbesondere dann notwendig, wenn ein begründeter Verdacht auf Überschreitung von Grenzwerten besteht. Verstärkt wird dies beim Vorhandensein von Krebs erzeugenden Gefahrstoffen.
Weiterhin soll mit der Auswertung eingeschätzt werden, ob und unter welchen Bedingungen eine vorgesehene Reduzierung des TRK-Wertes der DME auf 0,2 mg/m³ umgesetzt werden kann.
3. Mit den Messergebnissen soll der Nachweis der Expositionsminderung durch technische oder technologische Veränderungen erbracht werden.
Forderungen des Arbeitsschutzes, die möglicherweise noch kostenintensiv sind, können nur beim messtechnischen Nachweis einer Überschreitung energisch vorgetragen werden.
4. Da weitere zwei Tunnel für die A 71 noch gebaut und für den ICE weitere 28 km einröhrig geplant wurden, sind gemachte Erfahrungen und Erkenntnisse umzusetzen.

Folgende Messphilosophie lag zu Grunde:

Im Tunnel herrscht, mit Ausnahme der Sprengung, ein reges Leben und Treiben. Ständig fahren große und kleine dieseltreibene Fahrzeuge mit und ohne Partikelfilter rein und raus. Die Beschäftigten verrichten im Laufe der Schicht unterschiedliche Tätigkeiten.

Es ist ausgesprochen schwer, ein Tätigkeitsprofil qualitativ und quantitativ für den Mineur zu erstellen. Deshalb wurden drei Messbereiche im Tunnel festgelegt und der Messort zugeordnet (Portal, Ortsbrust, Fahrzeuge dazwischen).

Entsprechend den technologischen Schritten wurde sich beim Schuttern auf DME und im Zusammenhang mit der Sprengung auf Kohlenmonoxid, beim Betonspritzen auf Feinstaub konzentriert. Die Messungen erfolgten in den Großgeräten personenbezogen, an Ortsbrust und Portal stationär.

Abb. 5 Personenbezogene A-Staub-Probenahme in einer Fahrerkabine





Nun zu einigen Ergebnissen. Diese Ergebnisse stellen technologische Messwert dar. Sie sind ein Maß für die Belastung des Beschäftigten beim jeweiligen Arbeitsgang, nicht über die gesamte Schichtdauer.

1. Schuttern

Die beim Schuttern beteiligten Fahrzeuge (Bagger oder Radlader, Muldengelenkkipper oder Dumper) fahren nach dem Abschlag in die jetzt wieder bewetterte Röhre ein. Hier sind die Fahrer den Sprengschwaden, die wesentlich aus CO bestehen, ausgesetzt. Gleichzeitig entsteht durch das Bewegen des Haufwerkes und den Fahrverkehr eine Staubexposition.

Durch den regen Fahrverkehr in den Röhren (Bagger, Radlader, Kipper, Betontransporter, Sprengwagen, Bohrwagen, andere Zulieferer, Diesel-PKW) sind Belastungen gegenüber DME vorhanden. In der Regel beobachtet ein Mineur den Vorgang direkt an der Ortsbrust.

1.1 Dieselmotoremission

In den untersuchten Tunneln herrschte eine Grundbelastung gegenüber DME von durchschnittlich $0,06 \text{ mg/m}^3$ (Zeiten ohne Fahrverkehr durch Großraumfahrzeuge).

Während des Schutternvorganges sind im Tunnel unterschiedliche DME-Konzentrationen anzutreffen. Die niedrigste ist am Portal vorhanden ($0,20 \text{ mg/m}^3$), an der Ortsbrust sind es $0,34 \text{ mg/m}^3$.

Die höchsten Konzentrationen treten dort auf, wo sich die Diesel-Kilowatt konzentrieren. Dies ist im Bereich des Laders/Baggers. Da sich diese nahezu ständig an der gleichen Stelle befinden, ist dort die maximale DME-Konzentration vorhanden (Mittelwert = $0,70 \text{ mg/m}^3$, Maximum = $1,84 \text{ mg/m}^3$).

Durch die Fahrtbewegungen ein bzw. aus dem Tunnel wird die Konzentration in den Mulden verringert und liegt im Durchschnitt bei $0,45 \text{ mg/m}^3$ (Maximum = $1,12 \text{ mg/m}^3$).



Bild 6 DME-Belastung

Überaus interessant für die Praxis könnte die Erkenntnis sein, dass sich bei einer Lüttenlänge über 800 m die Luftqualität drastisch verschlechtert.

Die Mittelwerte der DME-Konzentrationen in den Beladefahrzeugen als auch in den Transportfahrzeugen unterscheiden sich oberhalb einer Lüttenlänge von 800 m von kürzeren Lüttenlängen.

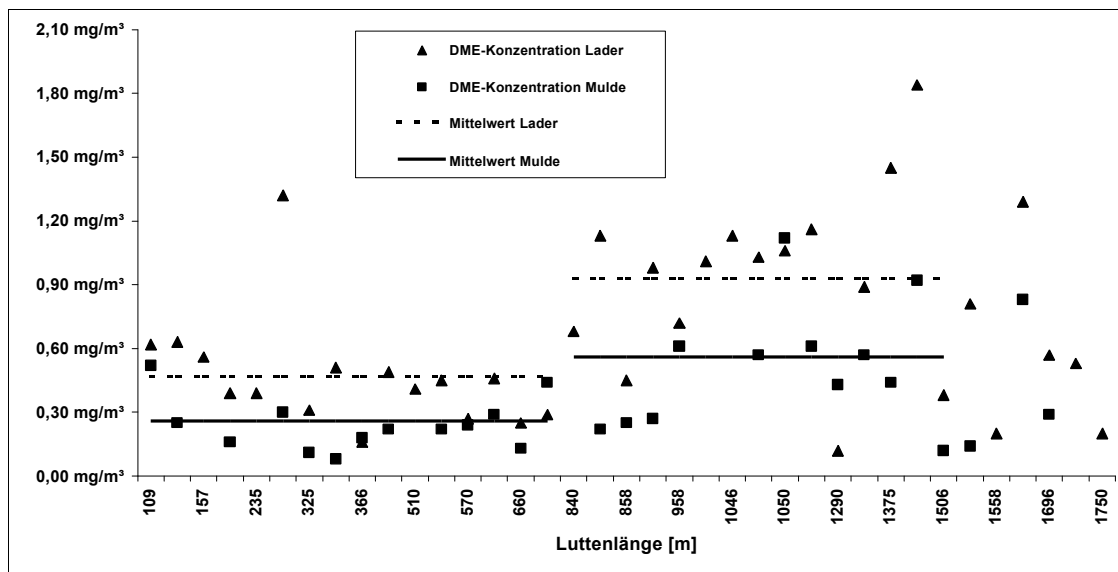


Bild 7 DME-Konzentration in Fahrzeugkabinen

1.2 Feinstaub

Die Bewegung des gebrochenen Gesteins beim Aufladen ist die Hauptursache für die Verstaubung der Arbeitsbereiche. Hinzu kommen aufgewirbelte Stäube oder bei feuchter Fahrbahn Aerosole durch den Fahrbetrieb.

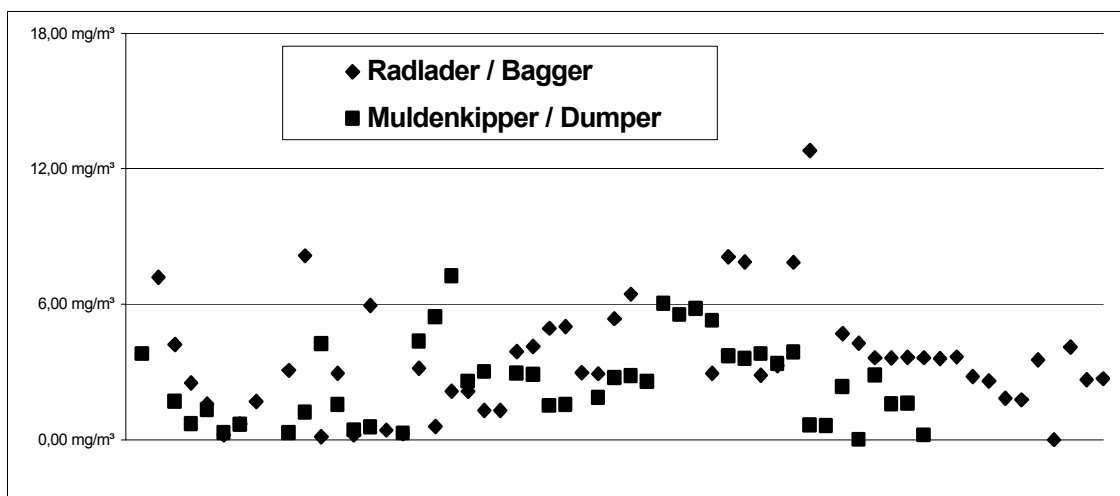


Bild 8 A-Staub in Fahrerkabinen

Jedoch kann festgestellt werden, dass der Grenzwert von $6,00 \text{ mg/m}^3$ eingehalten werden kann (Bela-defahrzeuge im Mittel $3,8 \text{ mg/m}^3$ und Transportfahrzeuge $2,6 \text{ mg/m}^3$).

1.3 Kohlenmonoxid

Sehr interessant waren die Erkenntnisse, die durch den Einsatz kontinuierlich messender Sensorsysteme gewonnen werden konnten. Es zeigte sich, dass die nitrosen Gase bei den verwendeten Sprengstoffen keine unmittelbare Gefährdung darstellen.

Anders zeigte sich die Höhe der Exposition gegenüber CO. Die entsprechende Unfallverhütungsvorschrift der TBG fordert für die Einfahrt in die Röhre eine Wartezeit von 15 Minuten nach dem Abschlag. Unter dem Motto „Zeit ist Geld“ wird oft schon nach Wartezeiten deutlich unter 5 Minuten die Arbeit



am Haufwerk aufgenommen. Dadurch setzen sich die Beladegeräte-Fahrer CO-Konzentrationen von bis zu über 600 ppm aus. Der zulässige Grenzwert liegt bei kurzzeitiger Exposition (kleiner 15 Minuten) bei 60 ppm. In den meisten Fällen reichen bereits 15–20 Minuten Wartezeit, um nur noch CO-Konzentrationen knapp über 100 ppm in Kauf nehmen zu müssen.

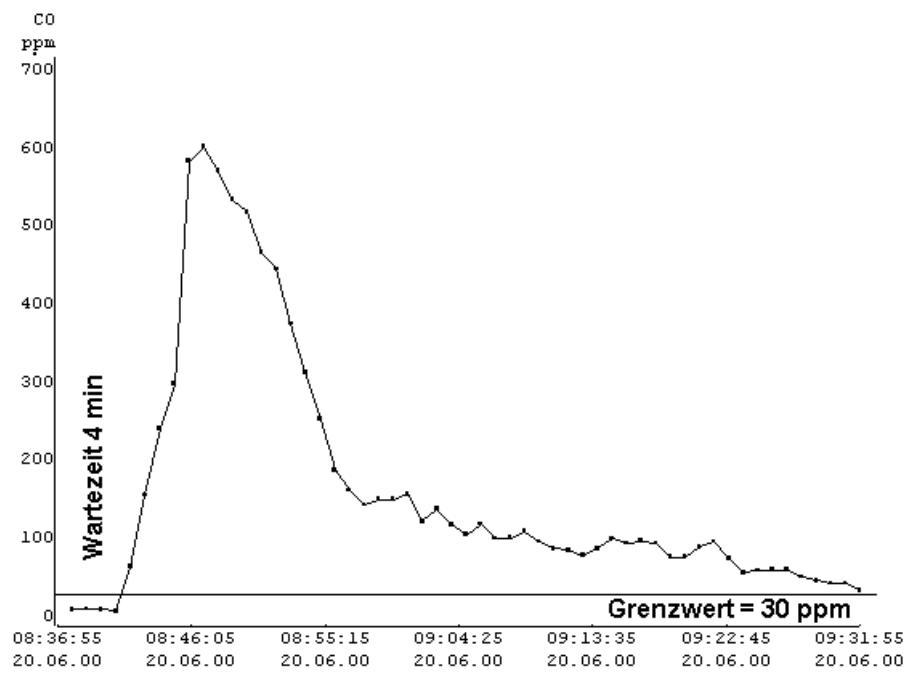


Bild 9 Konzentration an CO in einem Bagger beim Schuttern

Bedingt durch das Ein- und Ausfahren ist die Situation in den Fahrerkabinen der Kipper und Dumper weniger kritisch; die Abbildung zeigt einen typischen Verlauf der CO-Konzentration mit einer Zigarettenpause vor Beginn des Schutterns. Man sieht deutlich das Ansteigen und Absinken der Kurve beim Ein- und Ausfahren.

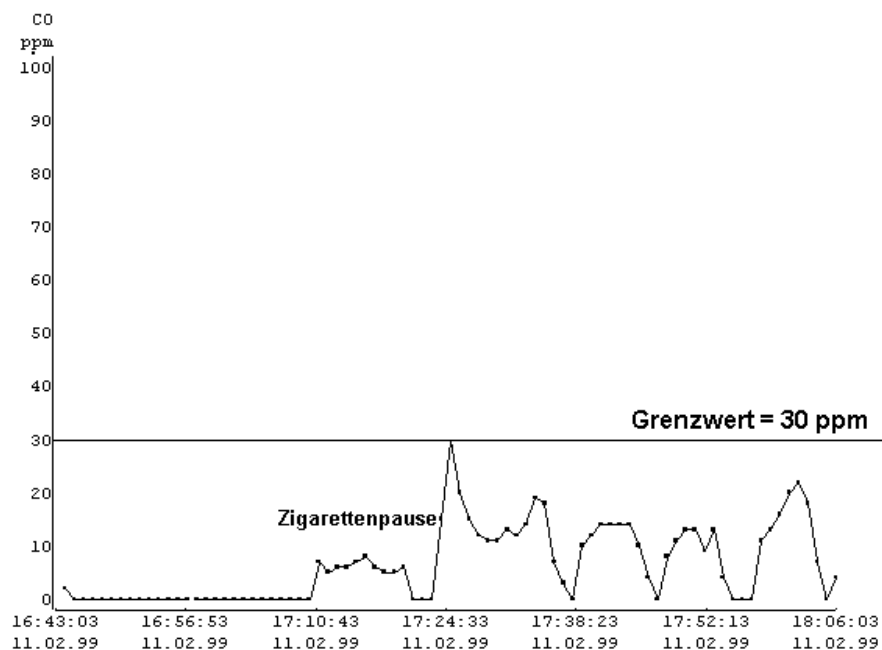
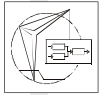


Bild 10 Konzentration an CO in einem Muldenkipper beim Schuttern

Die Auswertung der Versuche mit neuartigen Sprengstoffen liegt noch nicht vor.

Ansonsten bleibt die konsequente Einhaltung der Wartezeit als organisatorische Maßnahme nicht nur dann, wenn Messungen durchgeführt werden.



2. Betonspritzen

DME und Kohlenmonoxid stellen dabei – so die Messergebnisse – keine besondere Belastung dar. Das Laufenlassen der Motoren der Betonmischer führt zu Konzentrationen um $0,1 \text{ mg/m}^3$ DME und lässt die Konzentration an CO nur unwesentlich über 5 – 8 ppm ansteigen.

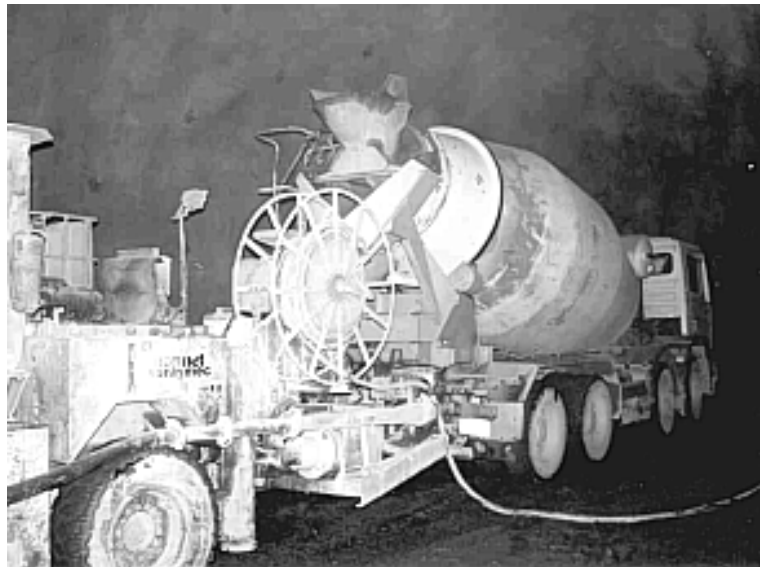


Bild 11 Betonmischer beim Anliefern von Flüssigbeton

Allerdings vollziehen sich interessante technische und technologische Entwicklungen. Auf der einen Seite wird automatisch gespritzt (ferngesteuerter Manipulator bzw. geschlossene Kabine), auf der anderen Seite geht der Trend vom Trocken- über Halbfeuchtes- zum Nassspritzen. Der Vorteil des Nassspritzverfahrens drückt sich signifikant in den Messergebnissen aus (Tunnel A und B).

	A-Staub mg/m^3	E-Staub mg/m^3
Tunnel A Nass-Spritzen	4,9	29,2
Tunnel C Nass-Spritzen	5,5	21,3
Tunnel B Halbfeuchtes Spritzen	8,2	95,4

Die Messergebnisse geben begründeten Anlass, in der Perspektive auf das Nassspritzverfahren zu orientieren. Dabei kann selbst beim technologischen Schritt mit der höchsten Belastung der Grenzwert ($6,00 \text{ mg/m}^3$) eingehalten werden.



Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Mineure beim Tunnelbau trotz moderner Technik vielfältigen Beanspruchungen und Belastungen ausgesetzt sind.

Während die Belastung mit Feinstaub durch das moderne Nassspritzverfahren beim Betonspritzen stabil unter den MAK-Wert gedrückt werden kann, erfordert die Einhaltung des TRK-Wertes für DME beim Schüttern zusätzliche Lüftungstechnische Maßnahmen.

Da diese ausgesprochen kostenintensiv sind, müssen sie im Rahmen der Ausschreibung geplant werden. Allein mit Dieselpartikelfilter ist das Problem zur Zeit nicht zu lösen. Eine Reduzierung des TRK-Wertes auf $0,2 \text{ mg/m}^3$ wird als schwer umsetzbar angesehen. Möglicherweise stellen sensorgesteuerte Lüfter eine Zwischenlösung dar.

Neben moderner Technologie und technischem Gerät spielt nach wie vor die Organisation auf der Baustelle eine entscheidende Rolle. Dazu zählt ein ausgeklügeltes Wartungsprogramm für die Fahrzeuge ebenso wie die Arbeitsdisziplin während und nach dem Sprengvorgang.

Auf die Einhaltung der 15 bis 20 Minuten nach dem Sprengvorgang ist strikt zu achten. Beim Tunnel C ist dies in Form einer Dienstanweisung durch die ARGE umgesetzt worden. Gleiches gilt für die Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen.

Unser Dank gilt den beteiligten ARGE und den zuständigen Mitarbeitern der Ämter für Arbeitsschutz in Suhl und Erfurt für ihre Zusammenarbeit.